



#5 2633

RECEIVED
JUN 27 2002
Technology Center 2600

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Takuro SEKIYA, et al.

GAU: 2633

SERIAL NO: 10/085,204

EXAMINER:

FILED: February 26, 2002

FOR: SURFACE -EMISSION LASER DIODE OPERABLE IN THE WAVELENGTH BAND OF 1.1-7MUM AND OPTICAL TELECOMMUNICATION SYSTEM USING SUCH A LASER DIODE

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

BEST AVAILABLE COPY

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2001-050083	February 26, 2001
JAPAN	2001-050145	February 26, 2001
JAPAN	2001-050171	February 26, 2001
JAPAN	2001-051253	February 26, 2001
JAPAN	2001-051256	February 26, 2001
JAPAN	2001-051266	February 26, 2001
JAPAN	2001-053190	February 27, 2001
JAPAN	2001-053200	February 27, 2001
JAPAN	2001-053213	February 27, 2001
JAPAN	2001-053218	February 27, 2001
JAPAN	2001-053225	February 27, 2001
JAPAN	2001-073767	March 15, 2001
JAPAN	2001-090711	March 27, 2001
JAPAN	2002-019748	January 29, 2002
JAPAN	2002-033590	February 12, 2002
JAPAN	2002-050548	February 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

☒ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee



were filed in prior application Serial No. filed

22850

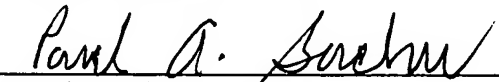
RECEIVED
JUN 27 2002
Technology Center 2600

- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

BEST AVAILABLE COPY

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Registration No. 24,913

Paul A. Sacher
Registration No. 43,418



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

10/085,204
RECEIVED
JUN 27 2002
Technology Center 2600

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 2月26日

出願番号

Application Number:

特願2001-050083

[ST.10/C]:

[JP2001-050083]

出願人

Applicant(s):

株式会社リコー

2002年 5月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3035031

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100803

【提出日】 平成13年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/42

【発明の名称】 光通信システム

【請求項の数】 3

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー内

【氏名】 関谷 卓朗

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー内

【氏名】 桜井 彰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー内

【氏名】 加藤 正良

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー内

【氏名】 古田 輝幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
株式会社リコー内

【氏名】 宮垣 一也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 金井 健

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 和多田 篤行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 鈴木 幸栄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 菅原 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 新治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー内

【氏名】 曳地 秀一

【特許出願人】

【識別番号】 000006747

【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代表者】 桜井 正光

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003724

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積を $S\text{ (mm}^2\text{)}$ 、レーザ素子動作電圧を $V\text{ (V)}$ とするとき、 V/S を $15000\sim 30000$ の範囲にしたことを特徴とする光通信システム。

【請求項2】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積を $S\text{ (mm}^2\text{)}$ 、

レーザ素子動作電圧を V (V) とするとき、 V/S を 1 5 0 0 0 ~ 3 0 0 0 0 の範囲にしたことを特徴とする光通信システム。

【請求項 3】 前記面発光型半導体レーザ素子は連続発振させて使用することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は光通信などに用いられる半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、中でも半導体レーザとして製作に使用する半導体基板面に対して垂直方向に光を発するいわゆる面発光レーザを用いた光通信システムに関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

面発光半導体レーザは、基板の表面から垂直方向にレーザ光を放射するので 2 次元並列集積が可能であり、更に、その出力光の広がり角が比較的狭い (1 0 度前後) ので光ファイバとの結合が容易であるほか、素子の検査が容易であるという特徴を有している。そのため、特に、並列伝送型の光送信モジュール (光インタコネクション装置) を構成するのに適した素子として開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間やボード間の並列接続のほか、短距離の光ファイバー通信であるが、将来の期待される応用として大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系がある。

【0 0 0 3】

一般に、面発光半導体レーザは、GaAs 又は GaInAs からなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部の半導体分布ブラッグ反射鏡と基板側の下部の半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成するのが普通であるが、端面発光型半導体レーザの場合に比較して光共振器の長さが著しく短いため、反射鏡の反射率を極めて高い値 (9 9 % 以上) に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常は、AlAs からなる低

屈折率材料とGaAs からの高屈折率材料を $1/4$ 波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

【0004】

ところで上記のように、光通信に使用されるようなレーザ波長が $1.1\mu\text{m}$ 以上の長波長帯レーザ、例えばレーザ波長が $1.3\mu\text{m}$ 帯や $1.55\mu\text{m}$ 帯であるような長波長帯レーザは、製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられるが、基板のInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とする必要がある。またInP基板上に形成される半導体レーザには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する点がある。そのため、温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、民生用等一般用に供することが困難であり、このような積層数と温度特性の問題から、実用的な長波長帯面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

【0005】

このような問題を解決するためになされた発明として、特開平9-237942号公報に開示されたものが知られている。それによると、製作基板としてGaAs 基板を用い、基板側の下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからの半導体層を用い、さらに、下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈折率層にGaInNAs からの半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を得るようにし、少ない積層数で高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡を実現しようというものである。

【0006】

また、GaInNAs を活性層の材料として使用している。これは、N組成を増加させることによってバンドギャップ（禁制帯幅）を 1.4eV から 0eV へ向かって低下させることができるので、 $0.85\mu\text{m}$ よりも長い波長を発光する材料として用いることが可能となるからである。しかもGaAs 基板と格子整合が可能なので、GaInNAs からの半導体層は、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.55\mu\text{m}$ 帯の長波長帯面発光半導体レーザのための材料として好ましい点についても言及

している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来は $0.85\mu\text{m}$ よりも長い波長帯の面発光半導体レーザ実現の可能性を示唆するにとどまっているだけであり、実際にはそのようなものは実現していない。これは基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明だからである。

【0008】

一例を挙げると、上記のようにAlAs からの低屈折率材料とGaAs からの高屈折率材料を $1/4$ 波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したものや、あるいは特開平9-237942号公報に開示されたもののよう、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInP からの半導体層を用いたものにおいては、レーザ素子が全く発光しなかったり、あるいは、発光してもその発光効率が低く、実用レベルには程遠いものであった。これは、Alを含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Alに起因する結晶欠陥が生じ易いためである。これを解決するためには、特開平8-340146号公報や特開平7-307525号公報に開示された発明のようにAlを含まないGaInNP とGaAs とから半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する提案がある。しかしながらGaInNP とGaAs との屈折率差はAlAs とGaAs との屈折率差に比べて約半分であり、反射鏡の積層数を非常に多くなり製作が困難となる。

【0009】

すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで光ファイバー通信が期待されているが、それに使用できるレーザ波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在せず、その出現が切望されている。

【0010】

本発明はこのような光通信などに用いられるレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1$

． 7 μm の長波長帯面発光半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、その第1の目的は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ素子が破損しないで良好に使用できる光通信システムを提案することにある。

【0011】

また第2の目的も、安定して使用できるレーザ発振波長が1.1 μm ～ 1.7 μm の長波長帯面発光半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ素子が破損しないで良好に使用できるを可能とする光通信システムを提案することにある。

【0012】

さらに第3の目的は、このような光通信システムにおいて、実用的な使用方法を提案することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は前記目的を達成するために第1に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が1.1 μm ～ 1.7 μm であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積を S (mm^2)、レーザ素子動作電圧を V (V) とするとき、 V/S を15000～30000の範囲になるようにした。

【0014】

また第2に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、前記面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積を $S\text{ (mm}^2\text{)}$ 、レーザ素子動作電圧を $V\text{ (V)}$ とするとき、 V/S を $15000\sim 30000$ の範囲になるようにした。

【0015】

さらに第3に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記面発光型半導体レーザ素子は連続発振させて使用するようにした。

【0016】

【発明の実施の形態】

最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子である伝送ロスの少ないレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの1例について図1を用いて説明する。

【0017】

前述のように、従来は本発明が適用しようとしているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料、ならびにより具体的、詳細な構成は不明であった。本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用し、さらに具体的な構成を明確にした。以下にそれを詳述する。

【0018】

本発明では、面方位(100)の n -GaAs基板の上に、それぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)で n - $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=1.0$) (低屈折率層～屈折率小の層)と n - $Al_yGa_{1-y}As$ ($y=0$) (高屈折率層～屈折率大の層)を交互に35周期積層した n -半導体分布ブラッグ反射鏡($AlAs/GaAs$ 下部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの n - $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層を積層した。この例では n - $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

【0019】

そしてその上にアンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $Ga_xIn_{1-x}As$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(20nm)からなる多重量子井戸活性層と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長 λ の1波長分の厚さ(λ の厚さ)の共振器を形成している。

【0020】

さらにその上に、C(炭素)ドーパの p - $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層とZnドーパ p - $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0$)をそれぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(1周期)を積層し、その上にCドーパの p - $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.9$)とZnドーパ p - $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0$)をそれぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(25周期)とからなる半導体分布ブラッグ反射鏡($Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs$ 上部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成している。この例では p - $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$)層も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

【0021】

なおここで、上部/下部反射鏡ともそれぞれ低屈折率層(屈折率小の層)/高屈折率層(屈折率大の層)を交互に積層して形成するが、本発明ではこれらの間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq$

1) を設けている。図2は、低屈折率層（屈折率小の層）と高屈折率層（屈折率大の層）の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けた半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を示したものである（図1では図が複雑になるので図示することを省略している）。

【0022】

従来レーザ波長が $0.85 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザに関して、このような材料層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料、あるいはその厚さなどまで詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては全く検討されていない。その理由はこの分野（レーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザ）が新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからである。

【0023】

本発明者はいち早くこの分野（レーザ発振波長が $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信）の有用性に気づき、それを実現するために鋭意検討を行った。

【0024】

このような材料層は形成時にガス流量をコントロールするなどして、そのAl組成を連続的もしくは段階的に変えるようにしてその材料層の屈折率が連続的もしくは段階的に変化するようにして形成する。

【0025】

より具体的には、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層の z の値を0から1.0まで変わるように、つまり $\text{GaAs} \sim \text{AlGaAs} \sim \text{AlAs}$ という具合にAlとGaの比率が徐々に変わるようにして形成する。これは前述のように層形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。また、AlとGaの比率が前述のように連続的に変わるようにして形成しても良いし、段階的にその比率が変わるようにしても同等の効果がある。

【0026】

このような材料層を設ける理由は、半導体分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の

一つである p-半導体分布ブラッグ反射鏡の電気抵抗が高いという課題を解決するためである。これは半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する2種類の半導体層の界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第に Al 組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

【0027】

またこのような屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) は本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザの場合、 $5 nm \sim 50 nm$ の厚さとするのが良く、これより薄いと抵抗が大となり電流が流れにくく、素子が発熱したり、駆動エネルギーが高くなるという不具合がある。また厚いと抵抗が小となり、素子の発熱や、駆動エネルギーの面で有利になるが、今度は反射率がとれないという不具合があり、前述のように最適の範囲 ($5 nm \sim 50 nm$ の厚さ) を選ぶ必要がある。

【0028】

なお、前述のように従来のレーザ波長が $0.85 \mu m$ 帯の半導体レーザに関してこのような材料層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザの場合は、より効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率 (例えば 99.5% 以上) を得るためには、 $0.85 \mu m$ 帯よりも $1.1 \mu m$ 帯 $\sim 1.7 \mu m$ 帯の場合、このような材料層を約 2 倍程度にすることができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができ、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動の面で有利となる。

【0029】

つまり半導体分布ブラッグ反射鏡にこのような材料層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が $1.1 \mu m \sim 1.7 \mu m$ の長波長帯面発光半導体レーザの場合に特に効果的な工夫といえる。

【0030】

なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例えば $1.3\ \mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=1.0$) (低屈折率層～屈折率小の層) と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0$) (高屈折率層～屈折率大の層) を 20 周期積層した場合においては、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が 99.7% 以下となる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) 層の厚さは $30\ \text{nm}$ である。また、反射率が 99.5% 以上となる波長帯域は $53\ \text{nm}$ であり、反射率を 99.5% 以上と設計した場合、 $\pm 2\%$ の膜厚制御ができればよい。そこでこれと同等およびこれより薄い、 $10\ \text{nm}$ 、 $20\ \text{nm}$ 、 $30\ \text{nm}$ のものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができた $1.3\ \mu\text{m}$ 帯面発光型レーザ素子を実現、レーザ発振に成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

【0031】

なお多層膜反射鏡においては設計波長（膜厚制御が完全にできたとして）を含んで反射率の高い帯域がある。高反射率の帯域（反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域を含む）と呼ぶ。設計波長の反射率が最も高く、波長が離れるにしたがってごくわずかずつ低下している領域である。これはある領域から急激に低下する。そして狙いの波長に対して必要な反射率以上となるように、本来、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には $\pm 1\%$ 程度の膜厚誤差は生じるので狙いの波長と最も反射率の高い波長はずれてしまう。例えば狙いの波長が $1.3\ \mu\text{m}$ の場合、膜厚制御が 1% ずれたとき、最も反射率の高い波長は $13\ \text{nm}$ ずれてしまう。よってこの高反射率の帯域（ここでは反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域）は広い方が望ましい。しかし中間層を厚くするとこの帯域が狭くなる傾向にある。

【0032】

このように本発明のようなレーザ発振波長が $1.1\ \mu\text{m} \sim 1.7\ \mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザにおいて、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を工夫、最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱防止

ならびに安定発振、少エネルギー駆動が可能となる。

【0033】

再び図1に戻り、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 (p -コンタクト層) としての役割も持っている。

【0034】

ここで、量子井戸活性層の In 組成 x は 39% ($\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$) とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。なお量子井戸活性層は、 GaAs 基板に対して約 2.8% の圧縮歪を有していた。

【0035】

またこの面発光型半導体レーザ全体の成長方法は MOCVD 法で行った。この場合、格子緩和は見られなかった。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG (トリメチルガリウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 AsH_3 (アルシン)、 PH_3 (フォスフィン) を用いた。また、キャリアガスには H_2 を用いた。図1に示した素子の活性層 (量子井戸活性層) のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。ここでは、 GaInAs 層 (量子井戸活性層) は 550℃ で成長させている。ここで使用した MOCVD 法は過飽和度が高く高歪活性層の結晶成長に適している。また MBE 法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0036】

またこの例では、電流経路外の部分をプロトン (H^+) 照射によって絶縁層 (高抵抗部) を作って、電流狭さく部を形成した。

【0037】

そしてこの例では、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている p -コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極を形成し、基板の裏面に n 側電極を形成した。

【0038】

この例では、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域

(本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器)において、活性領域内にはAlを含んだ材料(III族に占める割合が1%以上)を用いず、さらに、下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$)の非発光再結合防止層としている。キャリアは、活性層に最も近くワイドギャップである上部及び下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみをAlを含まない層(II族に占める割合が1%以下)で構成しても活性領域に接する反射鏡の低屈折率層(ワイドギャップ層)にAlを含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再結合する時、この界面で非発光再結合が生じ発光効率は低下してしまう。よって活性領域はAlを含まない層で構成することが望ましい。

【0039】

またこの $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$)層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数がGaAs基板よりも小さく、引張り歪を有している。

【0040】

エピタキシャル成長では下地の情報を反映して成長するので基板表面に欠陥があると成長層へ這い上がっていく。しかし歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられ効果があることが知られている。

【0041】

上記欠陥が活性層に達すると発光効率を低減させてしまう。また、歪を有する活性層では臨界膜厚が低減し必要な厚さの層を成長できないなどの問題が生じる。特に活性層の圧縮歪量が例えば2%以上と大きい場合や、歪層の厚さ臨界膜厚より厚く成長する場合、低温成長などの非平衡成長を行っても欠陥の存在で成長できないなど、特に問題となる。歪層があるとそのような欠陥の這い上がりが抑えられるので、発光効率を改善したり、活性層の圧縮歪量が例えば2%以上の層を成長できたり、歪層の厚さを臨界膜厚より厚く成長することが可能となる。

【0042】

この $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$)層は活性領域に接しており活性領域にキャリアを閉じ込める役割も持っているが、 $Ga_xIn_{1-x}P_y$

As_{1-y} ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層は格子定数が小さくなるほどバンドギャップエネルギーを大きく取り得る。例えば $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($y=1$ の場合) の場合、 x が大きくなり GaP に近づくと格子定数が大きくなり、バンドギャップは大きくなる。バンドギャップ E_g は、直接遷移で $E_g(\Gamma) = 1.351 + 0.643x + 0.786x^2$ 、間接遷移で $E_g(X) = 2.24 + 0.02x$ と与えられている。よって活性領域と $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層のヘテロ障壁は大きくなるのでキャリア閉じ込めが良好となり、しきい値電流低減、温度特性改善などの効果がある。

【0043】

さらにこの $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層よりなる非発光再結合防止層は、その格子定数が GaAs 基板よりも大きく、圧縮歪を有しており、かつ前記活性層の格子定数が前記 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層よりも大きく圧縮歪を有している。

【0044】

またこの $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層の歪の方向が活性層と同じ方向なので、活性層が感じる実質的な圧縮歪量を低減する方向に働く。歪が大きいほど外的要因の影響を受けやすいので、活性層の圧縮歪量が例えば 2% 以上と大きい場合や、臨界膜厚を超えた場合に特に有効である。

【0045】

例えば発振波長が $1.3 \mu\text{m}$ 帯の面発光型レーザは GaAs 基板上に形成するのが好ましく、共振器には半導体多層膜反射鏡を用いる場合が多く、トータル厚さが $5 \sim 8 \mu\text{m}$ で 50～80 層の半導体層を活性層成長前に成長する必要がある。(一方、端面発光型レーザの場合、活性層成長前のトータル厚さは $2 \mu\text{m}$ 程度で 3 層程度の半導体層を成長するだけで良い。) この場合、高品質の GaAs 基板を用いてもさまざまな原因(一度発生した欠陥は基本的には結晶成長方向に這い上がるし、ヘテロ界面での欠陥発生などがある)で GaAs 基板表面の欠陥密度に比べて活性層成長直前の表面の欠陥密度はどうしても増えてしまう。活性層成長以前に、歪層の挿入や、活性層が感じる実質的な圧縮歪量が低減すると、活性層成長直前の表面にある欠陥の影響を低減できるようになる。

【0046】

この例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成としたので、キャリア注入時にAlに起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合がなくなり、非発光再結合が低減した。

【0047】

前述のように、反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成とする、すなわち非発光再結合防止層を設けることを、上下反射鏡ともに適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。また前述の例では、反射鏡低屈折率層の最も活性層に近い層のみを $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) の非発光再結合防止層としているが、複数層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) を非発光再結合防止層としても良い。

【0048】

さらにこの例では、GaAs基板と活性層との間の下部反射鏡にこの考えを適用し、活性層の成長時に問題となる、Alに起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。これらにより、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザーが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をAlを含まない $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができている。

【0049】

このようにして製作した面発光型半導体レーザーの発振波長は約 $1.2\mu\text{m}$ であった。GaAs基板上のGaInAsは、In組成の増加で長波長化するが歪み量の増加をとめない、従来 $1.1\mu\text{m}$ までが長波長化の限界と考えられていた（文献「IEEE Photonics Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照）。

【0050】

しかしながら今回発明者が製作したように、600℃以下の低温成長などの非平衡度の高い成長法により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来より厚くコヒーレント成長することが可能となり、波長は1.2 μm まで到達できた。なおこの波長はSi半導体基板に対して透明である。従ってSi基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップにおいてSi基板を通した光伝送が可能となる。

【0051】

以上の説明より明らかなようにIn組成が大きい高圧縮歪のGaInAsを活性層に用いることにより、GaAs基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できることがわかった。

【0052】

なお前述のように、このような面発光型半導体レーザは、MOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として、3重量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW、MQW)等を用いることもできる。

【0053】

レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は λ の厚さとしたが $\lambda/2$ の整数倍とすることができる。望ましくは λ の整数倍である。また半導体基板としてGaAsを用いた例を示したが、InPなどの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

【0054】

なおこの例では活性層として、主たる元素がGa、In、Asよりなる層、すなわち $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ (GaInAs活性層)の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、Nを添加し主たる元素がGa、In、N、Asからなる層(GaInNAs活性層)とすればよい。

【0055】

実際にGaInNAs活性層の組成を変えることにより、1.3 μm 帯、1.55 μm 帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。組成を検討することにより、さらに長波長の例えば1.7 μm 帯の面発光レーザも可能となる。

【0056】

また、活性層にGaAsSbを用いてもGaAs基板上に $1.3\mu\text{m}$ 帯面発光レーザを実現できる。このように波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ、非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長 $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

【0057】

次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長帯面発光型半導体レーザの他の構成について、図3を用いて説明する。

【0058】

この場合も図1の場合と同様に面方位(100)のn-GaAs基板を使用している。それぞれの媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ($\lambda/4$ の厚さ)で $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)と $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$)を交互に35周期積層したn-半導体分布ブラッグ反射鏡($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 下部反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5, y=1$)層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層となっている。

【0059】

そしてその上に、アンドープ下部GaAsスペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{As}_{1-y}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)とGaAsバリア層(15nm)から構成される多重量子井戸活性層(この例では3重量子井戸(TQW))と、アンドープ上部GaAsスペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長の1波長分の厚さ(λ の厚さ)の共振器を形成している。さらにその上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)が形成されている。

【0060】

上部反射鏡は、被選択酸化層となるAlAs層を、GaInP層とAlGaAs層で挟んだ $3\lambda/4$ の厚さの低屈折率層(厚さが $(\lambda/4 - 15\text{nm})$ のCd

ーブ $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) 層、Cドープ $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$) 被選択酸化層 (厚さ 30 nm)、厚さが $(2\lambda/4 - 15\text{ nm})$ のCドープ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層 ($x=0.9$) と、厚さが $\lambda/4$ の GaAs 層 (1周期) と、Cドープの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層 ($x=0.9$) と $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) 層をそれぞれの媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造 (22周期) とから構成されている半導体分布ブラッグ反射鏡 ($\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部反射鏡) である。

【0061】

なおこの例においても、図3では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡の構造は、図2に示したような低屈折率層 (屈折率小の層) と高屈折率層 (屈折率大の層) の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けたものである。

【0062】

そして、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0$) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 (p-コンタクト層) としての役割も持たせている。

【0063】

ここで量子井戸活性層の In 組成 x は 37% 、 N (窒素) 組成は 0.5% とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。

【0064】

またこの面発光型半導体レーザの成長方法はMOCVD法で行った。半導体レーザの各層を構成する原料には、TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG (トリメチルガリウム)、TMI (トリメチルインジウム)、 AsH_3 (アルシン)、 PH_3 (フォスフィン)、そして窒素の原料にはDMHy (ジメチルヒドラジン) を用いた。DMHyは低温で分解するので 600°C 以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには H_2 を用いた。

【0065】

またこの例では、 GaInNAs 層 (量子井戸活性層) は 540°C で成長した。MOCVD法は過飽和度が高く N と他のV族を同時に含んだ材料の結晶成長に

適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

【0066】

さらにこの例では、所定の大きさのメサ部分を $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($x=0.5$, $y=1$) 層に達するまで、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$) 被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=1$) 層を水蒸気で側面から酸化して Al_xO_y 電流狭さく層を形成している。

【0067】

最後にポリイミド（絶縁膜）でメサエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去し、 p -コンタクト層上に光出射部を除いて p 側電極を形成し、 GaAs 基板の裏面に n 側電極を形成した。

【0068】

この例においては、被選択酸化層の下部に上部反射鏡の一部として $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層が挿入している。例えばウェットエッチングの場合では、硫酸系エッチャントを用いれば、 AlGaAs 系に対して GaInPAs 系はエッチング停止層として用いることができるため、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層が挿入されていることで、選択酸化のためのメサエッチングの高さを厳密に制御できる。このため、均一性、再現性を高められ、低コスト化が図れる。

【0069】

またこの例の面発光型半導体レーザー（素子）を一次元または二次元に集積した場合、素子製作時における制御性が良好になることにより、アレイ内の各素子の素子特性の均一性、再現性も極めて良好になるという効果がある。

【0070】

なおこの例では、エッチングストップ層を兼ねる $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y \leq 1$) 層を上部反射鏡側に設けたが、下部反射鏡側に設けても良い。

【0071】

またこの例においても、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合す

る活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内にはAlを含んだ材料を用いず、さらに下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）の非発光再結合防止層としている。つまりこの例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に、Alを含まない構成としているので、キャリア注入時に、Alに起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合を低減させることができる。

【0072】

なお反射鏡と活性領域との界面にAlを含まない構成を、この例のように上下反射鏡に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

【0073】

さらにこの例でも、GaAs基板と活性層との間の下部反射鏡に図1の例の場合と同様の考えを適用したので、活性層の成長時に問題となるAlに起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。

【0074】

なお、このような非発光再結合防止層は、図1、図3のいずれの構成においても半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を構成するので、その厚さは、媒質内における発振波長 λ の $1/4$ 倍の厚さ（ $\lambda/4$ の厚さ）としている。あるいはそれを複数層も設けても良い。

【0075】

以上の説明より明らかなように、このような構成により、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をAlを含まない $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）の非発光再結合防止層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記

効果を得ることができた。

【0076】

またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、配線（この例ではp側電極）が段切れしにくく、素子の信頼性は高いものが得られる。このように製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約 $1.3\mu\text{m}$ であった。

【0077】

この例では、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層を活性層に用いた（GaInNAs活性層）ので、GaAs基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できた。またAlとAsを主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。

【0078】

被選択酸化層を選択酸化したAl酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。更に酸化してAl酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減できる。また容易に電流狭さく構造を形成することから、製造コストを低減できる。

【0079】

以上の説明から明らかなように図3のような構成においても図1の場合と同様に、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを実現でき、しかも低消費電力で低コストの素子が得られる。

【0080】

なお、図3の面発光型半導体レーザも図1の場合と同様にMOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また窒素の原料に、DMHyを用いたが、活性化した窒素や NH_3 等他の窒素化合物を用いることもできる。

【0081】

さらに活性層の積層構造として3重量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW、DQW、MQW)等を用いることもできる。レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

【0082】

また図3の面発光型半導体レーザにおいて、GaInNAs活性層の組成を変えることで、1.55 μ m帯、更にはもっと長波長の1.7 μ m帯の面発光型半導体レーザも可能となる。GaInNAs活性層にTl、Sb、Pなど他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層にGaAsSbを用いても、GaAs基板上に1.3 μ m帯の面発光型半導体レーザを実現できる。

【0083】

なお活性層にGaInAsを用いた場合、従来1.1 μ mまでが長波長化の限界と考えられていたが、600℃以下の低温成長により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、波長は1.2 μ mまで到達できる。このように、波長1.1 μ m～1.7 μ mの半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長1.1 μ m～1.7 μ m帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになり、光通信システムへの応用ができるようになった。

【0084】

図4はこのような長波長帯面発光半導体レーザ素子を、面方位(100)のn-GaAsウエハに多数のチップとして形成した例、ならびにレーザ素子チップを示したものである。ここで示したレーザ素子チップには、1～n個のレーザ素子が形成されているが、その個数nはその用途に応じて、数ならびに配列方法が決められる。

【0085】

図5はレーザ発振波長が1.1 μ m帯～1.7 μ m帯の長波長帯面発光半導体レーザを用いた通信システムの一例である。従来よりレーザ発振波長が0.85 μ m帯では光通信システムが検討されていたが、光ファイバーの伝送ロスが大き

くて実用的ではなかった。また伝送ロスが小さい実用的な長波長帯においては安定したレーザ素子ができなかったが、本発明では前述のように半導体分布ブラッグ反射鏡の工夫、あるいは非発光再結合防止層を設けるような工夫により、レーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを省エネルギー、低発熱、安定駆動ができるようになり、実用的な長波長帯光通信システムが可能となった。

【0086】

この例は、上記のような長波長帯面発光型半導体レーザLDチップとそのレーザ素子発光部から出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する第1の光ファイバーFG1と、この第1の光ファイバーFG1から出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する第2の光ファイバーFG2と、この第2の光ファイバーFG2から出たレーザ光を受光しそれを送信するための伝送経路として作用する第3の光ファイバーFG3と、この第3の光ファイバーFG3から出たレーザ光を受光するための光ディテクタ部を有するフォトダイオードチップとからなっている。

【0087】

そして、半導体レーザLDチップと第1の光ファイバーFG1との間にはLD-FG1接続モジュールMG1があり、両者を光カップリングさせている。また同様に各光ファイバー間、光ファイバーとフォトダイオードチップ間にも同様に、FG1-FG2接続モジュールMG2、FG2-FG3接続モジュールMG3、FG3-フォトダイオード接続モジュールMG4が間に入り光カップリングさせている。

【0088】

このようなシステムに使用される第1の光ファイバーFG1はこの例では、レーザ素子発光部との間に光学系がはいることなく、直接光学的にカップリングされるようにファイバー端面と発光部が相対している。より詳細には図6に本発明の半導体レーザと光ファイバーの関係を示した。

【0089】

本発明の $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の長波長帯面発光半導体レーザは、光放

射角 θ が 10 度前後であり、使用されるファイバーとしては、例えばコア径 50 μm (クラッド径 125 μm) のものがあげられる。このような半導体レーザと光ファイバーの組合せにおいては、半導体レーザと光ファイバーの良好なカップリングを得るには、光射出部の大きさとして例えば 0.005 mm \times 0.005 mm \sim 0.02 mm \times 0.02 mm、面積 S で 0.000025 mm² \sim 0.0001 mm² のものが使用される。そして両者は、0 \sim 0.33 mm の距離においてファイバー端面と発光部が相対するようにすることにより、間に特別な光学系を入れなくても良好に光学的カップリングができる。なお以上は本発明の半導体レーザと光ファイバーの関係を説明したものであるが、光ファイバーの代わりに光導波路を用いた場合も同様に考えることができ、光導波路の端面 (光入力部) が、光ファイバーの端面に相当する。

【0090】

本発明では上記のような光射出部の大きさのものが使用されるが、これは 1.1 μm 帯 \sim 1.7 μm 帯の長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムにおける動作電圧にも密接な関係がある。本発明ではこの点に注目して、単なるパルス発振ではなく安定した連続発振が行われるにはどのような動作電圧にすればよいか検討を行った。以下に実験結果を示す。ここでは、図 3 に示した構成で、レーザ発振波長が 1.3 μm のものを使用した。光射出部 (今回は正方形とした) の大きさと動作電圧を変え、安定した連続発振ができる条件を見出したものである。なお、光射出部の形状は必ずしも正方形でなくてもよく、例えば丸形状であってもよい。その場合は面積換算すれば本発明と同様な考え方が適用できる。

【0091】

N o.	光射出部サイズ	面積 S	動作電圧 V	V/S
	評価			
	(mm \times mm)	(mm ²)	(V)	
1.	0.005 \times 0.005	0.000025	0.2	8000
	\times 発振せず			
2.	0.005 \times 0.005	0.000025	0.3	12000

×	発振せず				
3.	0.005	×	0.005	0.000025	0.375 15000
○	良好発振				
4.	0.005	×	0.005	0.000025	0.4 16000
○	良好発振				
5.	0.005	×	0.005	0.000025	0.5 20000
○	良好発振				
6.	0.005	×	0.005	0.000025	0.6 24000
○	良好発振				
7.	0.005	×	0.005	0.000025	0.75 30000
○	良好発振				
8.	0.005	×	0.005	0.000025	0.9 36000
×	破損				
9.	0.005	×	0.005	0.000025	1.2 48000
×	破損				
10.	0.01	×	0.01	0.0001	1.2 12000
×	発振せず				
11.	0.01	×	0.01	0.0001	1.3 13000
×	発振せず				
12.	0.01	×	0.01	0.0001	1.5 15000
○	良好発振				
13.	0.01	×	0.01	0.0001	1.7 17000
○	良好発振				
14.	0.01	×	0.01	0.0001	1.9 19000
○	良好発振				
15.	0.01	×	0.01	0.0001	2.1 21000
○	良好発振				
16.	0.01	×	0.01	0.0001	2.3 23000
○	良好発振				

17. 0. 01×0. 01	0. 0001	2. 5	25000
○ 良好発振			
18. 0. 01×0. 01	0. 0001	3	30000
○ 良好発振			
19. 0. 01×0. 01	0. 0001	4	40000
× 破損			
20. 0. 01×0. 01	0. 0001	5	50000
× 破損			
21. 0. 02×0. 02	0. 0004	2	5000
× 発振せず			
22. 0. 02×0. 02	0. 0004	4	10000
× 発振せず			
23. 0. 02×0. 02	0. 0004	6	15000
○ 良好発振			
24. 0. 02×0. 02	0. 0004	8	20000
○ 良好発振			
25. 0. 02×0. 02	0. 0004	10	25000
○ 良好発振			
26. 0. 02×0. 02	0. 0004	12	30000
○ 良好発振			
27. 0. 02×0. 02	0. 0004	15	37500
× 破損			
28. 0. 02×0. 02	0. 0004	20	50000
× 破損			

【0092】

以上の結果より、面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積を S (m^2)、レーザ素子動作電圧を V (V) とするとき、 V/S を15000~30000の範囲にすることにより、レーザ素子を破損することなく、安定した連続発振させることがわかる。よってこのような条件において、 $1.1\mu m$ 帯~ $1.$

7 μm 帯の長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムを動作させれば実用的な安定したシステムを実現できる。

【0093】

【発明の効果】

請求項1記載の発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通信が期待されているレーザ発振波長が1.1 μm 帯～1.7 μm 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光型半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

さらに、面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積とレーザ素子動作電圧との関係を最適化したので、レーザ素子が破損しないで良好に使用できる光通信システムが実現できた。

【0094】

請求項2記載の発明によれば、コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通信が期待されているレーザ発振波長が1.1 μm 帯～1.7 μm 帯の分野において、安定して使用できる長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように、非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップとすることにより安定した発振が可能となり、これを発光光源とした実用的な光通信システムが実現できた。

さらに、面発光型半導体レーザ素子チップの光射出部の面積とレーザ素子動作電圧との関係を最適化したので、レーザ素子が破損しないで良好に使用できる光通信システムが実現できた。

【0095】

請求項3記載の発明によれば、このような光通信システムにおいて、面発光型半導体レーザ素子は連続発振させて使用するようにしたので、実用的な使用方法

を提案することができた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの素子部断面図である。

【図 2】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成の部分断面図である。

【図 3】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの他の構成の素子部断面図である。

【図 4】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図 5】

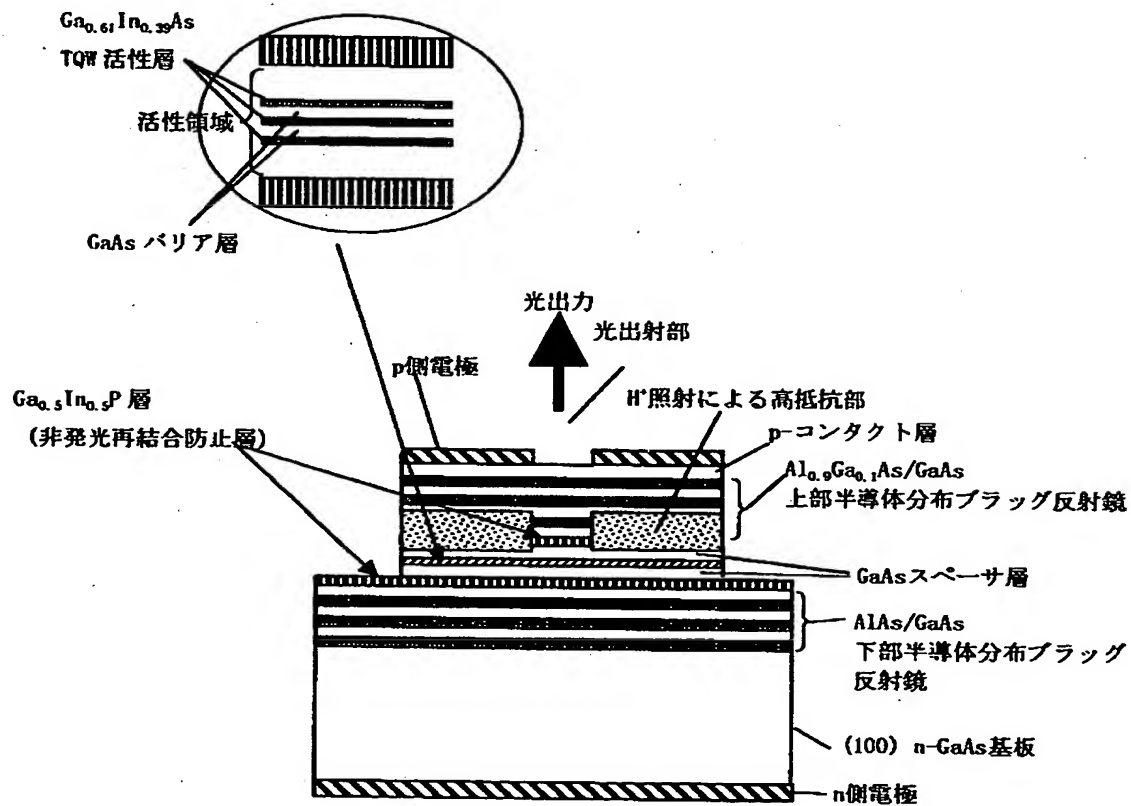
本発明の長波長帯面発光半導体レーザ素子を光源とした光通信システムの概念図である。

【図 6】

本発明の長波長帯面発光半導体レーザ素子の発光部とファイバーとの位置関係を示す図である。

【書類名】 図面

【図 1】

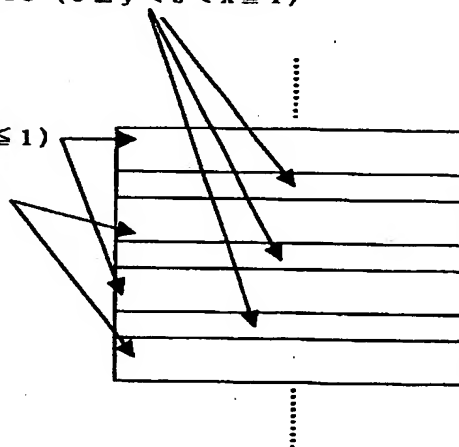


【図 2】

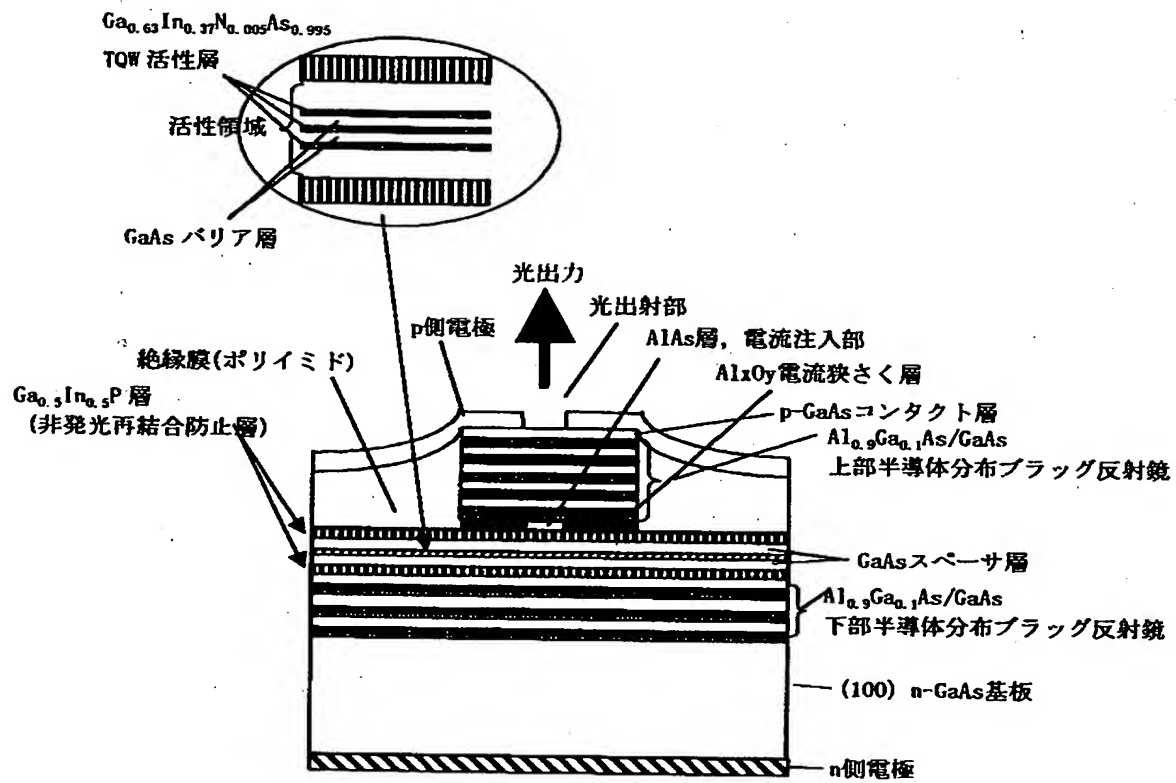
屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$)

屈折率が大の材料層 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)

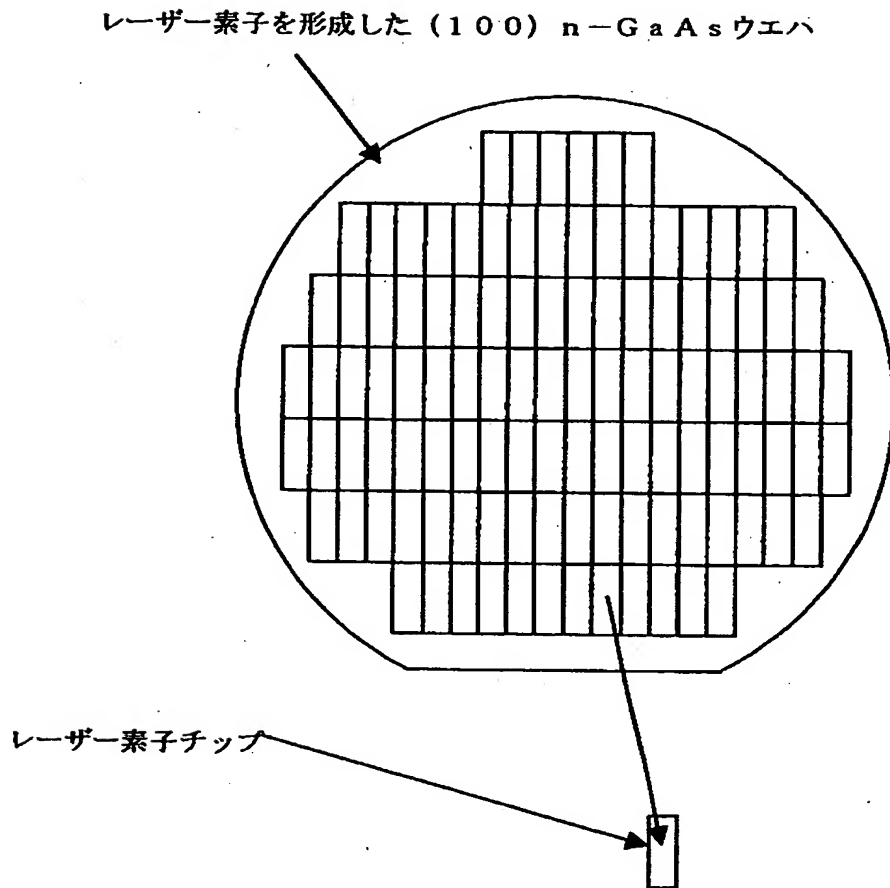
屈折率が小の材料層 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)



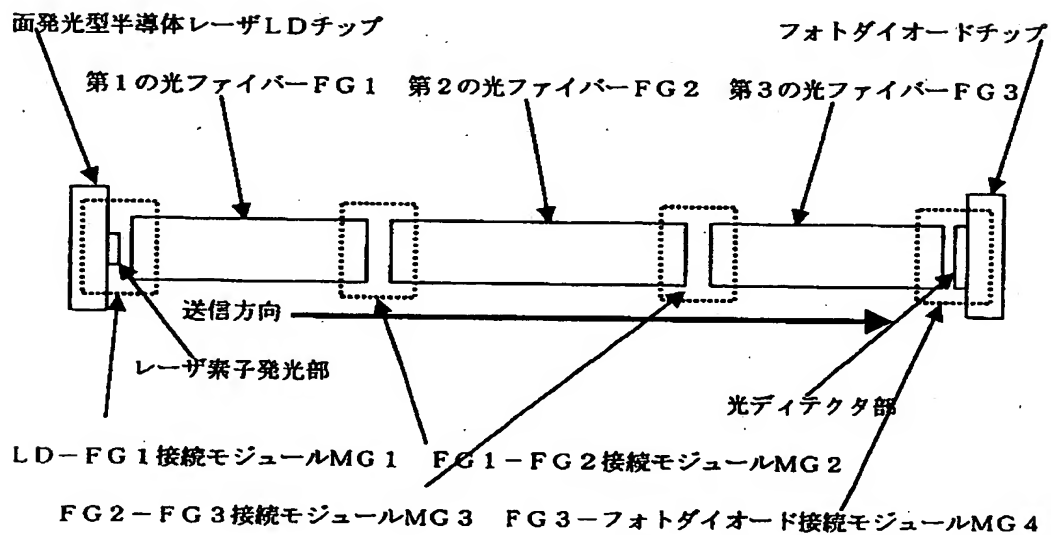
【図 3】



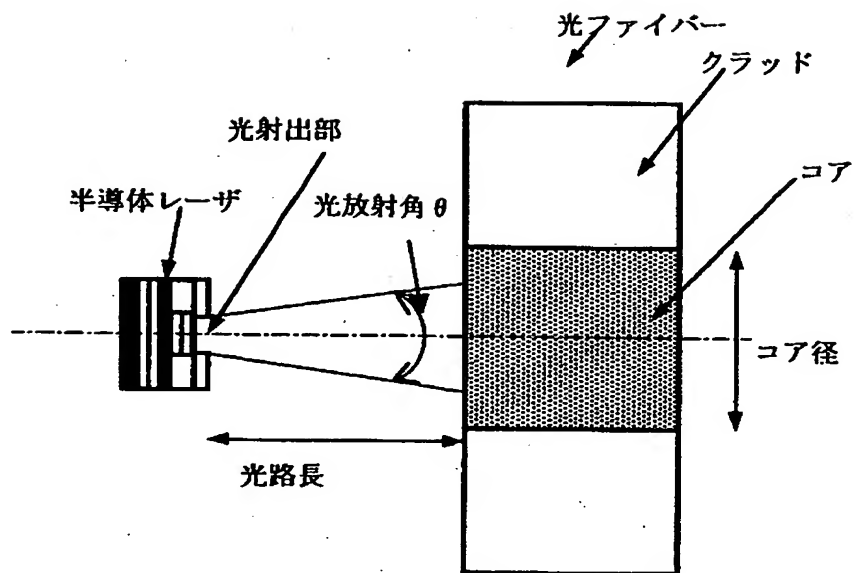
【図4】



【図5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 動作電圧、発振閾値電流などを低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、レーザ素子が破損しないで良好に使用できる光通信システムを提供する。

【解決手段】 レーザチップは発振波長が $1.1\text{--}1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層の主たる元素を $\{\text{Ga}, \text{In}, \text{N}, \text{As}\}$, $\{\text{Ga}, \text{In}, \text{As}\}$ のいずれかの群から選択し、活性層の上部および下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有し、反射鏡は構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化する半導体分布ブラッグ反射鏡であり、屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ ($0 < x \leq 1$)、大の材料層は $\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y} \text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) とし、両層の間に屈折率が両者の間の値の材料層 $\text{Al}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ ($0 \leq y < z < x \leq 1$) を設けた上記チップを発光光源とし、チップの光出射部の面積 $S (\text{mm}^2)$ 、レーザ素子動作電圧 $V (\text{v})$ とするとき、 V/S を $15000 \sim 30000$ の範囲にする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
氏 名 株式会社リコー